

Title	Electric Field Effect on Electron Spin States of Nitrogen-Vacancy Centers in Diamond
Author(s)	小林, 悟士
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/61825
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏 名 (小林 悟士)	
論文題名	Electric Field Effect on Electron Spin States of Nitrogen-Vacancy Centers in Diamond (ダイヤモンド中に存在する窒素-空孔中心の電子スピン状態に及ぼす電界効果)
論文内容の要旨	
<p>単一の電子スピンを室温で操作・検出可能なダイヤモンド中の窒素-空孔複合中心 (NV中心) は、単一分子の局所核磁気共鳴、生きた微生物や細胞のセンシング、量子性を活かした計測等、先進的な応用に向けて研究が行われてきた。</p> <p>近年、NV中心の電界効果に関する応用として、ダイヤモンドパワーデバイス中の電界測定や細胞の膜電位測定などの具体的な提案がなされた。また静電界や電気ノイズがNV電子スピンのコヒーレンス時間 (T_2) に大きな影響を与える場合があるとの指摘もあり、ノイズとの関係という点においても電界効果は重要になってきている。しかし、外部電界を印加しその効果を実験的に示した報告は少ない。よって実証的な研究が必要であると考えた。</p> <p>本研究では、まず、パワーデバイス中の電界測定などを見据え、これまで報告のなかった100 kV/cm程度の高電界下におけるNV電子スピンの磁気共鳴周波数の変調を観測した。共鳴周波数の電界依存性から、N-V軸に垂直な電界による共鳴周波数の変化については既知のスピンハミルトニアンが適用でき、NV中心が電界センサーとして動作可能であることを実証した。</p> <p>次に、NV中心の応用においてその性能を左右するNV電子スピンのT_2の、外部電界に対する応答を観察した。自由誘導減衰からT_2^{FID}をハーンエコー信号の減衰からT_2^{echo}を見積もった結果、その増大が観測され、外部電界によるT_2の増大が実証された。さらに先の実験で有効性を確認したスピンハミルトニアンを用いて定量的な解析を行った。磁気ノイズのみを想定した場合T_2^{FID}は概ね説明できるが高電界領域におけるT_2^{echo}増大の飽和は説明できず、電気ノイズを想定することでT_2^{echo}の振る舞いを説明できることが分かった。電界によるT_2の増大は、温度センシング・AC電界センシングの感度向上に貢献できると考えられる。また、T_2を制限するノイズが電界印加により磁気から電気へ変化していると推測されるため、NV中心が磁界および電界の揺らぎを個別に観察可能なプローブになる得ることが示唆された。</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (小林 悟士)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教 授	鈴木 義茂
	副 査	教 授	井元 信之
	副 査	教 授	浜屋 宏平
	副 査	教 授	水落 憲和 (京都大学 化学研究所)

論文審査の結果の要旨

ダイヤモンド中の窒素-原子空孔複合欠陥(NV中心)は室温で量子情報操作が可能な固体系および原子サイズの超高感度磁界センサーとなる系として注目を集めている。NV中心にとらえられた電子スピンは室温で光による初期化と読み出しが可能であり、かつ、比較的長いコヒーレンス時間を持つ。そこで、この電子とさらに長いコヒーレンス時間をもつ周辺の核スピンのダイポール相互作用を用いることにより量子情報操作が可能となる。しかし、その一方でNV中心のスピンと周辺の核スピンの相互作用は、NV中心のスピンを磁界センサーのプローブとして用いる際にはノイズとして働く。

このような中で申請者は、NV中心の電界に対する応答に注目して研究を行った。その結果、まず、NVセンターの磁気共鳴周波数が外部電界の印加により変化することを確認した。さらに、共鳴周波数の電界依存性から、N-V軸に垂直な電界による共鳴周波数の変化について、既知のスピンハミルトニアンに新たに核スピンの項も加えたスピンハミルトニアンが適用できることを示した。そして、NV中心が定量的な電界センサーとして、100kV/cm程度の高い電界下でも動作可能であることを実証した。今後、NV中心の細胞膜電位などの高い電界下における測定への応用など、研究の発展が期待される。

続いて、申請者はNV中心への電界印加がスピンのコヒーレンス時間に与える影響について詳しく実験した。その結果、電界印加によるコヒーレンス時間の大幅な増大を見出した。量子情報科学やセンサ応用において、コヒーレンス時間の長時間化は中心的課題であり、それを電界印可により初めて実証した点は意義深い。さらに先の実験で有効性を確認したスピンハミルトニアンを用いて定量的な解析を行った結果、低から中電界領域までは電界の印加が磁気ノイズの影響を遮断する効果があるとして説明できることを見出した。しかし、さらに高電界域では電界のノイズ自体が支配的になることを見出した。電界によるコヒーレンス時間の増大は、磁界のみならず温度や交流電界の超高感度測定に応用できるものと期待される。

申請者は以上の内容を明解に説明した。実験も的確に行われており信頼性が高いと判断される。さらに、明確かつ詳細な理論的解析は申請者の深い物理の理解を示すものである。質問についても論理的・的確に答えた。以上より本論文は博士(理学)の学位論文として価値のあるものと認める。